



FACULTAD DE CIENCIAS
GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA COMO FACTOR DETERMINANTE EN LA SALUD HUMANA

AUTORA: D^a PAULA FRÍAS VIEJO
TUTORA: D^a GUADALUPE RAMOS CAICEDO

2021

RESUMEN

La contaminación atmosférica se define como “la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza”. Se diferencia entre la contaminación atmosférica ambiental y doméstica, cuyas fuentes de emisión pueden ser naturales o antropogénicas, siendo estas últimas las que mayor riesgo suponen para la salud de la población.

Actividades como los procesos de combustión, agricultura, ganadería y transporte emiten contaminantes entre los que destacan las partículas en suspensión (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3), hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles por su nocividad a su exposición aguda o crónica. Estos se encuentran regulados por la legislación europea y estatal, las cuales establecen estándares de calidad del aire para el control de la emisiones y que el perjuicio en la salud sea menor.

Los efectos producidos dependerán de distintos factores ambientales, biológicos y socioeconómicos. Los grupos más vulnerables a la exposición de la contaminación son los niños, las mujeres embarazadas, ancianos o personas que presentan alguna enfermedad cardiorrespiratoria.

Las enfermedades o síntomas respiratorios y cardiovasculares más propensas son asma, bronquitis, neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cardiopatías, cánceres e incluso la muerte.

PALABRAS CLAVE: contaminación atmosférica ambiente, contaminación atmosférica intradomiciliaria, contaminantes, enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

ABSTRACT

Air pollution is defined as "the presence in the atmosphere of materials, substances or forms of energy that involve serious health problems and risk or damages for the people, the environment and any other elements". We differentiate between environmental and domestic air pollution, which their emission sources can be natural or anthropogenic, these ones being the riskiest for the health of the population.

Activities like combustion processes, agriculture, livestock and transportation emit pollutants like particular matter (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), ozone (O₃), hydrocarbons and volatile organic compounds due to the harmfulness of their mild or chronic exposure. These pollutant emissions are regulated by the European and state legislation, that establish the air quality standards to control emissions and reduce health damage.

The effects will depend on different environmental, biologic and socioeconomic factors. The most vulnerable groups to pollution are children, pregnant woman, elders and people with cardiorespiratory disease.

The most common respiratory and cardiovascular diseases are asthma, bronchitis, pneumonia, chronic obstructive pulmonary disease, heart disease, cancer, and even death.

KEYWORDS: ambient air pollution, indoor air pollution, pollutants, respiratory and cardiovascular diseases.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Emisiones atmosféricas.....	1
1.2. Principales contaminantes atmosféricos.....	2
1.2.1. Comportamiento aerodinámico.....	2
1.3. Efectos de la contaminación en la salud.....	2
1.4. Control de los contaminantes.....	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. PRINCIPALES CONTAMINANTES.....	4
3.1. Partículas en suspensión.....	4
3.1.1. Fuentes de emisión de PM.....	5
3.2. Hidrocarburos.....	6
3.2.1. Fuente de emisión HAP y COV.....	7
3.3. Dióxido de azufre.....	8
3.3.1. Fuentes de emisión SO ₂	8
3.4. Dióxido de nitrógeno.....	9
3.4.1. Fuentes de emisión NO ₂	9
3.5. Monóxido de carbono.....	10
3.5.1. Fuentes de emisión CO.....	10
3.6. Ozono.....	10
4. ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES Y RESPIRATORIAS GENERADAS POR LA EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES.....	11
5. EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA AMBIENTAL.....	12
5.1. Efectos por exposición a material particulado.....	14
5.2. Efectos por exposición a hidrocarburos.....	15
5.3. Efectos por exposición a SO ₂	16
5.4. Efectos por la exposición a NO ₂	17
5.5. Efectos por la exposición a CO.....	18
5.6. EFECTOS EN LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A O ₃	20
6. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA AMBIENTAL Y MUERTES PREMATURAS EN ESPAÑA.....	21
7. EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN INTRADOMICILIARIA.....	22
8. CONCLUSIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	27
ANEXOS.....	33

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza (Art. 3, L34/2007, de 15 de noviembre).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la salud es el estado completo de bienestar físico y social de una persona, y no solo la ausencia de enfermedad.

La salud humana está directamente relacionada con un entorno óptimo del medio ambiente. Se requiere una disminución de las emisiones, es decir, una disminución de los niveles de contaminación y en consecuencia una mejor calidad del aire para prevenir aquellas enfermedades causadas por los contaminantes atmosféricos.

1.1. EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Una emisión es la descarga a la atmósfera continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía procedentes, directa o indirectamente, de cualquier fuente susceptible de producir contaminación atmosférica (Art. 3, L34/2007, de 15 de noviembre).

Las emisiones atmosféricas se pueden clasificar según su origen. Tienen origen natural cuando son resultantes de los fenómenos naturales, es decir, cuando se emiten por tormentas de arena, actividad volcánica, sísmica, etc. (Rojas Bracho y Garibay Bravo, 2003) (Art. 3, L34/2007, de 15 de noviembre) (Romero Placeres, Diego Olite y Álvarez Toste, 2006). Mientras que, las emisiones de origen antropogénico son resultantes directas o indirectas de las actividades humanas como industrias, agricultura, ganadería, procesos de combustión y los medios de transporte que generan grandes cantidades de contaminantes capaces de degradar los recursos materiales, dañar a los seres vivos, alterar el funcionamiento de los ecosistemas y afectar a la salud, tanto de los trabajadores como de la población cercana a estas actividades (Romero Placeres, Diego Olite y Álvarez Toste, 2006) (Rojas Bracho y Garibay Bravo, 2003).

1.2. PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Un contaminante es cualquier sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza (Art. 2, RD 102/2011, de 28 enero). Dependiendo de su procedencia se diferencian en primarios si el contaminante es emitido directamente desde la fuente, o secundarios si el contaminante se ha producido por transformaciones físicas y químicas (Ballester, 2005).

Los contaminantes se encuentran en distintos estados físicos pudiendo estar en estado sólido como es el caso del polvo o aerosoles, es decir, material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1) y en estado gaseoso que son gases como algunos hidrocarburos, óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), y óxidos de carbono (CO y CO_2). Algunos no se emiten directamente, sino que surgen de la interacción de otros gases como es el caso del ozono (O_3) (Oyarzún G., 2010).

1.2.1. COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO

La presencia de un contaminante en la atmósfera depende de su comportamiento aerodinámico, que a su vez va a depender de los factores ambientales (temperatura, humedad, vientos, precipitaciones, radiación solar, orografía, etc.) y de los factores físicos propios del contaminante (peso, tamaño, densidad, etc.).

Cuando el contaminante tenga un menor peso y tamaño recorrerá una mayor trayectoria. La trayectoria a su vez se ve afectada por la presencia de corrientes de viento que ayudarán al propio contaminante a desplazarse llegando a recorrer varios kilómetros y a no acumularse en grandes concentraciones en la zona de emisión.

1.3. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LA SALUD

Los contaminantes pueden generar o agravar diferentes enfermedades (cáncer de pulmón, neumopatías crónicas y agudas, etc.) y un aumento de su concentración incrementará el número de ingresos en hospitales o centros de salud por causas cardiorrespiratorias, además de aumentar la morbilidad y mortalidad.

Los efectos en la salud dependen de distintos factores:

- Características de la población (edad, susceptibilidad, sexo, estado de salud, etnia, etc.)
- Contaminante (tipo de contaminante, sinergismo, concentración del contaminante, tiempo de exposición, etc.)
- Nivel socioeconómico (desigualdad social, hábitos alimenticios, estilos de vida, etc.)
- Medio ambiente, es decir, las condiciones climáticas (temperatura, humedad, precipitaciones, dirección y velocidad del viento, etc.)
- Ubicación (zonas urbanas, rurales o industriales, cercanía a polígonos, etc.).

Los contaminantes no siempre están aislados, pueden estar mezclados con otros y la interacción de ellos producir efectos nocivos en la salud, por ello resulta complejo determinar el efecto que produce cada contaminante.

1.4. CONTROL DE LOS CONTAMINANTES

Las políticas de control de contaminación establecidas a nivel europeo (las directivas europeas 2008/50/CE, de 21 mayo; 1996/62/CE, de 27 de septiembre; 2004/107/CE, de 15 de diciembre) y estatal (Real Decreto 102/2011, de 28 de enero) suponen una reducción de los niveles de contaminación y por ende, de morbilidad y mortalidad (López Gigoso, 2009). Si las emisiones no estuviesen controladas la afección y el perjuicio sería mucho mayor.

Los contaminantes están regulados por la legislación europea, la cual establece unos valores objetivo (no vinculantes legalmente y que pueden superarse por causas justificadas), valores límite (vinculantes jurídicamente y que no deben superarse) y techos nacionales de emisión (cantidades máximas anuales de sustancias que puede emitir un país) con los que se pretende reducir emisiones de SO₂ y NO_x y COVNM (Boldero y Querol, 2014).

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio bibliográfico son:

- Analizar a través de distintos artículos cómo la contaminación atmosférica afecta a la salud humana, es decir, determinar si la exposición a un contaminante causa, agrava o incrementa los problemas en la salud.
- Identificar las principales fuentes de emisión de los contaminantes atmosféricos.
- Conocer las enfermedades más frecuentes asociadas a la exposición de cada contaminante.

3. PRINCIPALES CONTAMINANTES

3.1. PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

Las partículas en suspensión o material particulado (PM) son partículas en estado sólido y líquido presentes en la atmósfera con tamaños micro- y submicroscópicos que varían desde 0,001 hasta 100 μm . Se clasifican en fracción gruesa (PM_{10}), fracción fina ($\text{PM}_{2.5}$) y fracción ultrafina (PM_1).

Las PM están compuestas principalmente por sulfatos, nitratos, carbono orgánico, arsénico, cloruro de sodio, hollín, carbón negro, agua, etc. (OMS, 2018a).

Una vez son emitidas entran en contacto con el ser humano por medio de rutas de exposición (vía oral, vía respiratoria y vía cutánea) que les permiten depositarse en tres regiones del sistema respiratorio. En la figura 1 se puede observar que las PM_{10} se depositan en la región extratorácica / nasofaríngea, las $\text{PM}_{2.5}$ pueden llegar hasta la región traqueobronquial y alveolar y las PM_1 son capaces de pasar de la región alveolar al torrente sanguíneo dónde pueden causar infecciones o reacciones alérgicas (Rojas Bracho y Garibay Bravo, 2003) (Oyarzún G., 2010).

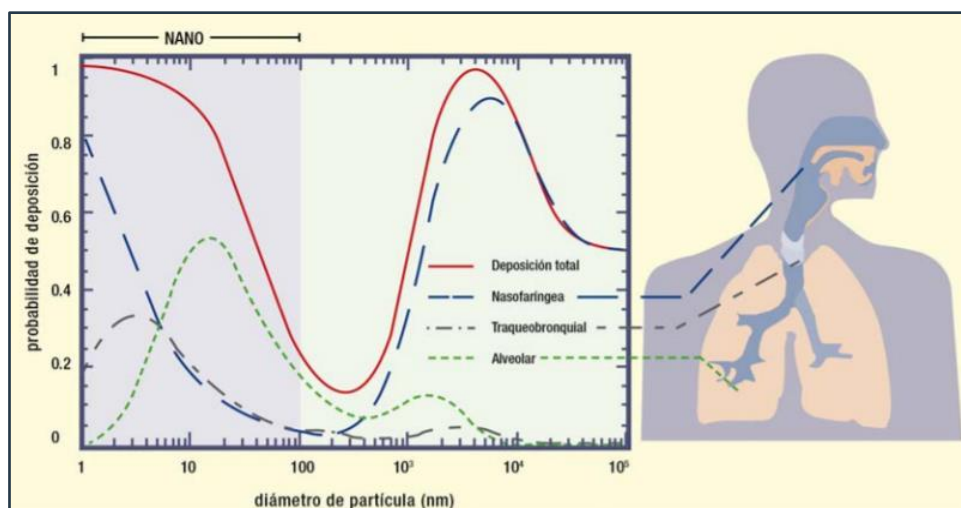


Figura 1: Probabilidad de deposición en el tracto respiratorio según el diámetro de partícula (nm). Tomada de: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

3.1.1. FUENTES DE EMISIÓN DE PM

La PM se origina antrópicamente por procesos de combustión, agricultura, ganadería y por el transporte. En las figuras 2 y 3 se observa que las PM_{10} y $PM_{2.5}$ se emiten principalmente por la combustión de combustibles que se dan en los domicilios y por los medios de transporte. De forma natural se originan por actividad volcánica, incendios forestales, suelos erosionados, sal marina, etc. (Saraga *et al.*, 2021)

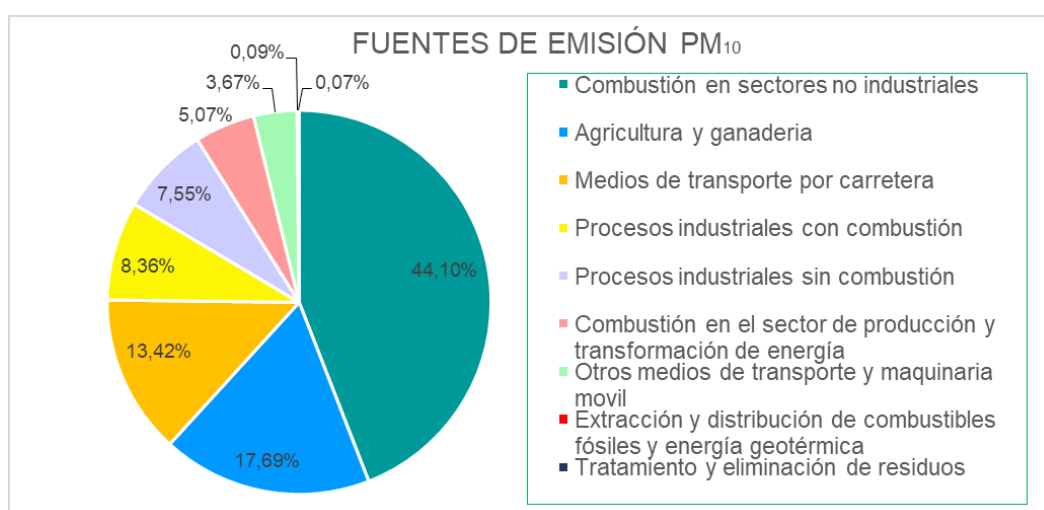


Figura 2: Origen de la contaminación por PM_{10} (2015). Fuente: Elaboración

propia. Datos obtenidos de: Plan Nacional de Calidad del AIRE II (2017-2019) (MAPAMA- ministerio de agricultura, pesca, alimentación y medio ambiente).

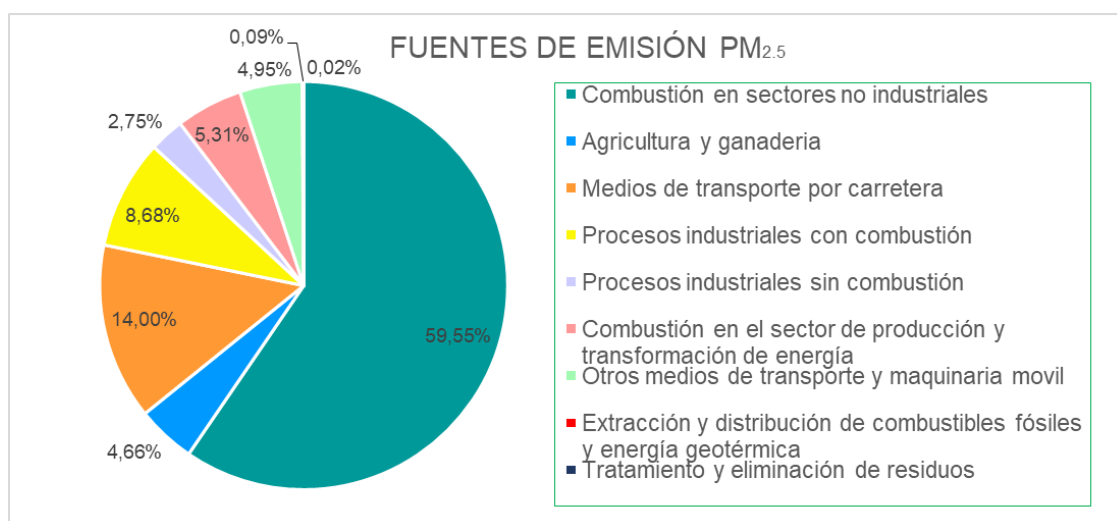


Figura 3: Origen de la contaminación por PM_{2.5} (2015). Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Plan Nacional de Calidad del AIRE II (2017-2019) (MAPAMA).

Las partículas ultrafinas y el carbón negro son los que mayor preocupación causan ya que su emisión va en aumento y no se encuentran regulados, estos provienen principalmente de las emisiones del combustible diésel (Patiño-Sánchez y Patiño-Silva, 2021).

3.2. HIDROCARBUROS

Los **hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)** son compuestos orgánicos formados por dos o más anillos aromáticos condensados constituidos en su totalidad por carbono e hidrógeno (Art. 2, RD102/2011, de 28 de enero).

Destaca el benzo(α)pireno (B(α)P) que es un HAP bioacumulativo, cancerígeno y mutagénico que se encuentra en las partículas finas y es muy nocivo para la salud.

Los **compuestos orgánicos volátiles (COVs)**, son compuestos que tienen a 293,15 K (20 °C) una presión de vapor de 0,01 kPa o más, o que tienen una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso (Art.2, RD

117/2003, de 31 de enero). Es decir, aquellos hidrocarburos que a temperatura ambiente se encuentran en estado gaseoso o que son muy volátiles a dicha temperatura. Destaca el benceno (C_6H_6) un COV carcinógeno, originado principalmente por fuentes naturales (tormentas, fauna, vegetación, etc.) y por procesos de combustión incompleta.

3.2.1. FUENTE DE EMISIÓN HAP Y COV

Los **HAPs** se originan por la combustión incompleta de materia orgánica (leña, carbón, biomasa, etc.) llevada a cabo en la agricultura y ganadería y por la combustión de combustibles fósiles (transporte, sistemas de calefacción), como se puede observar en la figura 4, asimismo de manera natural se emiten por incendios o volcanes (Oyarzún G., 2010) (Galán-Madruga *et al.*, 2020).

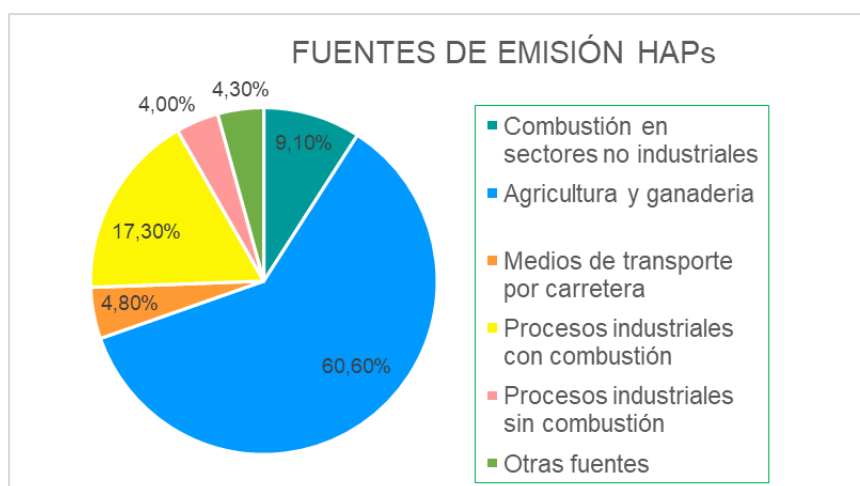


Figura 4: Fuentes de emisión de HAPs (2011). Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos de: Análisis de la calidad del aire en España. Evolución 2001-2012 (MAPAMA).

Los **COV** se liberan durante la quema de combustibles fósiles y tanto en el exterior por procesos industriales como en el interior de las viviendas se emite por el uso de productos tales como disolventes, pinturas, aromatizantes, etc. (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, 2010).

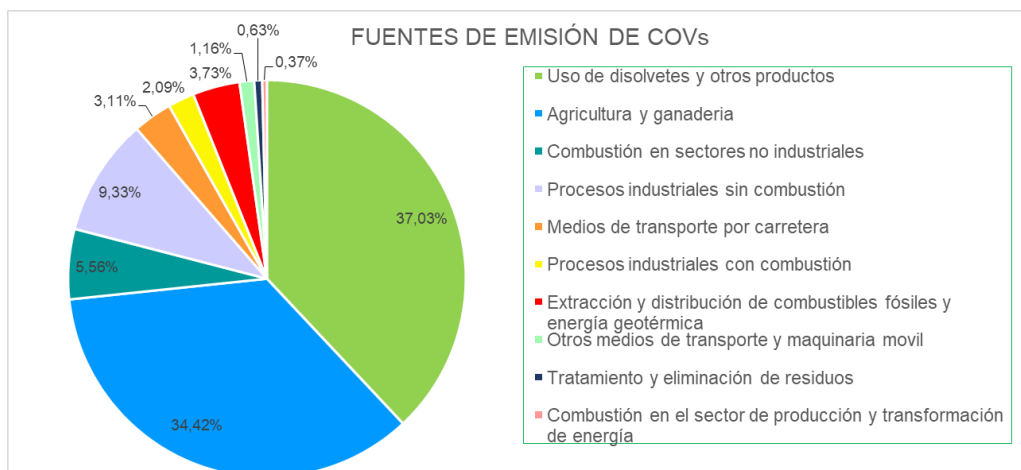


Figura 5: Origen de la contaminación de COVNM (2015). Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Plan Nacional de Calidad del AIRE II 2017-2019 (MAPAMA).

3.3. DIÓXIDO DE AZUFRE

El dióxido de azufre (SO_2) es un gas incoloro e irritante que presenta mayor densidad que el aire. Es el responsable de la formación de lluvia ácida, por su transformación a ácido sulfúrico (H_2SO_4) en contacto con el agua.

3.3.1. FUENTES DE EMISIÓN SO_2

El SO_2 se origina principalmente por fuentes de tipo antrópicas como procesos industriales, combustión de combustibles fósiles, refinerías de petróleo, cementeras, etc. También se origina por la actividad volcánica y geotérmica.

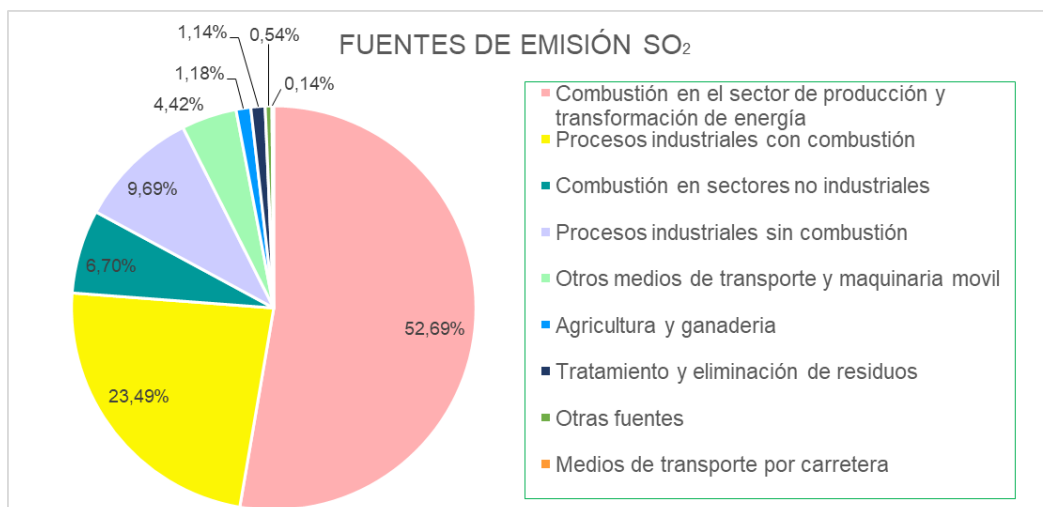


Figura 6: Origen de la contaminación de SO_2 (2015). Fuente: Elaboración propia.

Datos obtenidos de: Plan Nacional de Calidad del AIRE 2017-2019 (Plan Aire II) (MAPAMA).

3.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Uno de los óxidos de nitrógeno más relevante respecto a la contaminación atmosférica es el dióxido de nitrógeno (NO_2) un contaminante tóxico e irritante que participa junto con el NO en la formación de lluvia ácida y smog fotoquímico. Asimismo, es un potenciador de $\text{PM}_{2,5}$ y precursor de la formación del O_3 , por ello presentan cierta relevancia en la atmosfera debido a su peligrosidad (CeMCAQ, 2020).

El NO_2 también se puede formar por la combinación del óxido de nitrógeno (NO) con oxígeno (O_2) presente en la atmósfera, es decir, se oxida el NO parcialmente y se convierte en NO_2 .

3.4.1. FUENTES DE EMISIÓN NO_2

Es emitido por la combustión de combustibles fósiles (gasolina y diésel principalmente) procedente del transporte y por la combustión de calefacciones domésticas. “En ambiente urbano, generalmente más del 75% del NO_2 en aire ambiente es aportado por el tráfico rodado” MITECO (n.d.), este valor se ve incrementado por la proximidad de las viviendas al tráfico.

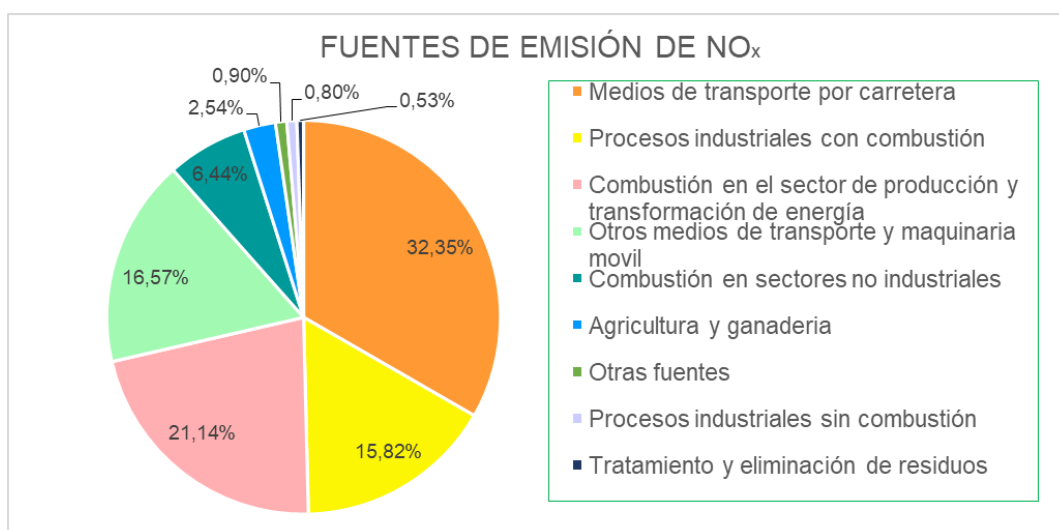


Figura 7: Origen de la contaminación de NO_x (2015). Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Plan Nacional de Calidad del AIRE II 2017-2019 (MAPAMA).

3.5. MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido, presenta propiedades que lo hacen más nocivo al ser humano (en elevadas concentraciones) que el CO₂ (Bolaños Morera y Chacón Araya, 2017), por su capacidad para competir con el oxígeno y alterar la disociación de la hemoglobina debido a su elevada afinidad por esta, lo que supone la formación del complejo Hemoglobina-CO (Téllez, Rodríguez y Fajardo, 2006).

3.5.1. FUENTES DE EMISIÓN CO

La mayor producción de CO es emitida por los sistemas de calefacción que generan intoxicación intradomiciliaria, seguido de la agricultura, ganadería y de los procesos industriales como se indica en la figura 8, además del transporte.

Otra fuente de exposición sería el tabaquismo. El tabaco eleva los niveles de carboxihemoglobina (COHb) (Bolaños Morera y Chacón Araya, 2017).

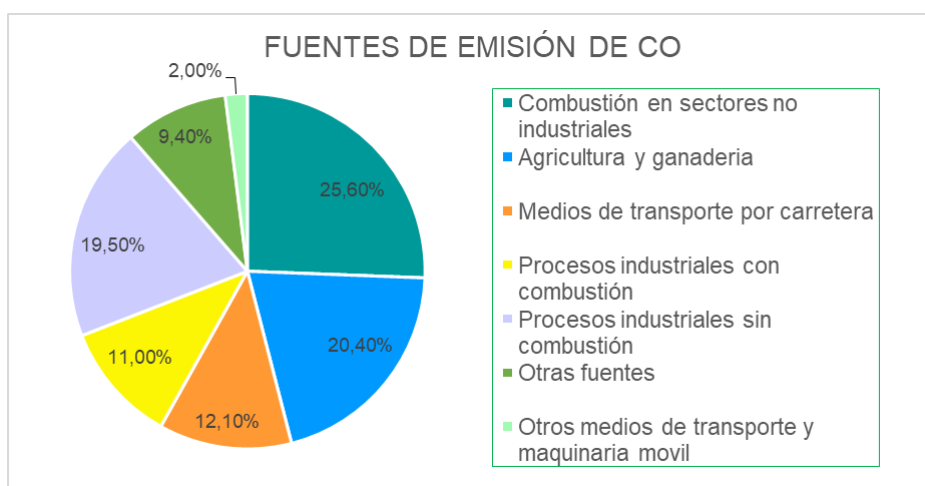
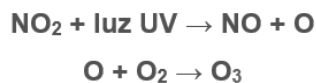


Figura 8: Fuentes de emisión de CO (2011). Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Análisis de la calidad del aire en España. Evolución 2001-2012 (MAPAMA).

3.6. OZONO

El ozono troposférico (O₃) es un contaminante secundario incoloro originado por reacciones fotoquímicas entre los COVs y NO_x que se combinan en la atmósfera

en presencia de luz solar. Una de las reacciones que conlleva la formación del ozono troposférico es la siguiente:



Los niveles de O₃ serán mayores en los periodos de tiempo soleado puesto que la luz solar cataliza su reacción (OMS, 2018a).

4. ENFERMEDADES CARDIOVACULARES Y RESPIRATORIAS GENERADAS POR LA EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES.

La exposición a la contaminación atmosférica de ambientes externos e internos incide en la aparición o agravamiento de enfermedades, por la exposición a material particulado, hidrocarburos, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y ozono. Estos contaminantes presentan riesgos para el sistema respiratorio y cardiovascular en mayor medida, aunque también se afectan a otros sistemas.

Dependiendo de las condiciones de cada persona, podrán presentar uno, varios o ningún síntoma.

Entre las enfermedades respiratorias más propensas destacan el asma, infecciones respiratorias agudas, bronquitis, neumonía y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). A nivel cardiovascular se puede originar arteriosclerosis, infartos de miocardio, arritmias cardíacas, cardiopatías isquémicas, etc.

Asma: enfermedad pulmonar crónica producida por una inflamación o estrechamiento de las vías respiratorias, se manifiesta en forma de sibilancias, tos, problemas para respirar y opresión en el pecho.

Neumonía: es una infección pulmonar en la que los alvéolos pulmonares se llenan de líquido y pus. Se origina principalmente por bacterias, pero también se originan por virus y hongos. Síntomas: tos, fiebre, náuseas, malestar y disnea.

Bronquitis aguda: inflamación de los conductos bronquiales que causa tos, producción de mucosidad, presión en el pecho, dificultad para respirar, fatiga, etc.

Infección respiratoria aguda (IRA): se define como el conjunto de enfermedades producidas en el sistema respiratorio que a veces se convierte en neumonía. Síntomas: tos, fiebre, malestar general, dolor de cabeza, dolor en el pecho, sibilancias en niños, posible dolor de oído, etc.

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC): se define como una enfermedad pulmonar que dificulta la respiración por la obstrucción de las vías respiratorias, se manifiesta por dos enfermedades: bronquitis crónica (tos prolongada con moco, e irritación de las vías) y enfisema (daño en el tejido de los alvéolos pulmonares que causa fatiga, sensación de presión, etc.). Su causa principal es el tabaquismo.

Cardiopatía isquémica: es una enfermedad que afecta al sistema cardiovascular por la falta de aporte de sangre y en consecuencia de oxígeno al corazón. Esta cardiopatía puede no presentar síntomas o puede causar angina de pecho (dolor en el pecho), infarto agudo de miocardio, arritmias, insuficiencia cardíaca e incluso muerte súbita.

5. EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA AMBIENTAL

“La contaminación atmosférica se considera responsable directa de 3,1 millones de las 52,8 millones de muertes por enfermedades crónicas que se produjeron en el mundo en 2010” (Muñoz, 2015).

Se estima que un total de 4,2 millones de personas mueren de forma prematura al año debido a la contaminación atmosférica ambiental y que casi 300.000 son menores de 5 años. En 2016 el porcentaje de muertes prematuras debido a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares era un 58%, por enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas un 18% y por cáncer de pulmón un 6% (OMS, 2018a).

Del total de muertes por contaminación atmosférica el 40% corresponde a cardiopatías isquémicas, 40% a accidentes cerebrovasculares, 11% a neumopatía obstructiva crónica, 6% cáncer de pulmón y 3% a infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores en niños (OMS, 2014).

Las enfermedades desarrolladas como consecuencia de la contaminación atmosférica son las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, en menor medida enfermedades en el sistema nervioso o neurológico, efectos en el sistema visual e incluso enfermedades oncológicas.

El tiempo de exposición a cada contaminante determinará la intensidad de los síntomas o enfermedades causadas.

Según la base de datos de la OMS, en 2016 las muertes por cardiopatía isquémica debidas a la contaminación atmosférica ambiente fueron 5226, seguida por las muertes por EPOC, como se puede observar en la tabla 1:

Tabla 1: Muertes y tasa de mortalidad por la contaminación atmosférica ambiente.

	Muertes atribuibles a la contaminación atmosférica ambiente			Tasa de mortalidad atribuible a la contaminación atmosférica ambiente (por 100.000 habitantes)		
	Ambos sexos	Masculino	Femenino	Ambos sexos	Masculino	Femenino
Infecciones de las vías respiratorias inferiores	1138	561	576	2	2	2
Cáncer de tráquea, bronquios y pulmón	1212	974	238	3	4	1
Cardiopatía isquémica	5226	2760	2466	11	12	10
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	2841	1844	998	6	8	4
Total	12574	7057	5517	27	31	23

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: (OMS, 2016).

5.1. EFECTOS POR EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO

Los sistemas respiratorios y cardiovasculares son los sistemas mayormente afectados por la presencia de partículas en el organismo como se puede observar en la tabla 2. La exposición a estos contaminantes no solo produce efectos agudos, sino que también puede producir efectos crónicos.

Tabla 2: Efectos producidos por la exposición a PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁.

Sistema afectado	Efecto producido		Contaminante que genera el efecto o lo agrava
Sistema respiratorio	Aumento de morbilidad, ingresos hospitalarios y mortalidad por causas respiratorias y cardiovasculares	Exacerbación o ataques de asma	PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁
		Resequedad fosas nasales	PM _{2.5}
		Reacciones alérgicas	PM ₁
		Infecciones respiratorias	PM ₁₀ , PM ₁
		Reducción del desarrollo y crecimiento pulmonar en niños	PM ₁₀ , PM _{2.5}
		Aumento de tos y sibilancias (en niños)	
		Síndrome bronquial obstructivo	
		Disminución de la función pulmonar	
		Neumonía y bronconeumonía	PM ₁₀
		Bronquitis aguda en niños	
		EPOC	PM ₁₀
Influenza	PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁		
Aumento del riesgo de cáncer de pulmón			
Sistema cardiovascular	Aumento de morbilidad, ingresos hospitalarios y mortalidad por causas respiratorias y cardiovasculares	Ataques cardíacos	PM ₁₀
		Insuficiencia cardíaca	
		Accidentes cerebrovasculares	
		Arterioesclerosis	
		Arritmias	
		Cardiopatías	
		Isquemia coronaria en la edad adulta	PM ₁₀ , PM _{2.5}
		Diabetes	
Sistema nervioso	Parkinson		PM ₁
	Alzheimer		
Otros sistemas	Accidente cerebrovascular isquémico		PM ₁₀ , PM _{2.5}
	Irritación de los ojos		PM _{2.5}
	Cáncer de boca		
	Tumores digestivos y de mama		PM ₁
	Desarrollo de otitis media		
	Muerte súbita		

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Barrios Casas, Peña-Cortés y Osses Bustingorry, 2004; Ballester, 2005; Pérez, Sunyer y Künzli, 2009; Oyarzún G., 2010; Leal-Iga, 2019; Patiño-Sánchez, Patiño-Silva, 2021; MAPAMA y OMS.

El número de casos de algunos de los efectos que aparecen en la Tabla 2, podrían reducirse si los niveles de PM₁₀ fuesen los recomendados por la OMS. Como han mostrado Pérez, Sunyer y Künzli (2009) en la evaluación de impacto

en el área metropolitana de Barcelona, mediante la creación de un supuesto escenario en donde los niveles de PM₁₀ eran los recomendados por la OMS (20 µg/m³) y los resultados indicaron una reducción de 3.500 muertes anuales (12%), 1.800 hospitalizaciones menos por enfermedades cardiorrespiratorias, 5.100 casos menos de enfermedades crónicas en adultos; 31.100 casos menos de bronquitis aguda en niños y 54.000 casos menos de ataques de asma, además de aumentarse la esperanza de vida 14 meses.

Valdés Hernández y Rojo Martínez (2021) exponen que la exposición crónica a PM₁₀ y PM_{2.5} aumenta tanto un 11% en la mortalidad por causas cardiovasculares (Muñoz, 2015) como el riesgo de desarrollar diabetes en un 10% por cada incremento de 10 µg/m³ de exposición. Asimismo, la exposición podría haber causado 206.105 muertes anuales y 3.2 millones de casos por diabetes.

Las partículas están asociadas a tumores pulmonares principalmente, pero científicos de Estados Unidos han concluido que aquellas personas que estén expuestas a mayores cantidades de 40,37 (µg/m³) de PM_{2.5} tienen un 43% más de posibilidades de sufrir cáncer de boca, pero no se puede establecer un vínculo directo (Agencia EFE, 2018).

En 2014 en España se produjeron 23.000 muertes prematuras por la exposición a PM_{2.5}, mientras que en toda Europa el número de muertes fue 379.000.

Las partículas ultrafinas son las de mayor peligrosidad causan debido a su pequeño tamaño que les permite incluso llegar al torrente sanguíneo.

5.2. EFECTOS POR EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son capaces de producir efectos agudos y crónicos en el organismo.

El benzo α-pireno es el HAP más cancerígeno presente en el humo del cigarrillo y en el smog de ciudades con alta contaminación (Mastandrea *et al.*, 2005).

En la tabla 3 se observa que la intoxicación por HAP produce irritación de las vías respiratorias, uno de los efectos más comunes. También puede producir efectos como cefalea, náuseas y mareos. Otros efectos por la exposición crónica son la sequedad, la dermatitis e incluso alteraciones del estado de ánimo como

depresión.

Tabla 3: Efectos por exposición a hidrocarburos.

	EFECTOS					
	Sistema respiratorio	Piel	Sistema hematopoyético	Ojos	Sistema urinario	Unidad materno-fetal
HAPs	Tos	Picor	Leucemia	Lagrimo	Cáncer de vejiga	Bajo peso de nacimiento
	Irritación vías aéreas superiores	Edema	Linfoma	Irritación de los ojos		Baja talla al nacer
	Bronquitis	Dermatitis aguda y crónica		Hiperemia conjuntival		
	Cáncer broncogénico	Cáncer cutáneo		Edema de párpados		
	Cáncer pulmonar					

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Mastandrea *et al.*, 2005; Oyarzún G., 2010; Zubizarreta Solá *et al.*, 2018 y MAPAMA.

Los HAPs están asociados al aumento de la incidencia de diversos tipos de cáncer, como el cáncer pulmonar y broncogénico. El benceno también es un carcinógeno que produce daños en el material genético favoreciendo la aparición de leucemia y malformaciones congénitas.

El tiempo de exposición a los COV determinará el efecto en la salud y en consecuencia su gravedad como se puede apreciar en la tabla 4.

Tabla 4: Efectos a corto y largo plazo por la exposición a compuestos orgánicos volátiles.

Efectos por exposición a COV	Corto plazo	Irritación ojos y vías respiratorias	Dolor de cabeza	Mareos y náuseas	Trastornos visuales y de memoria	Fatiga	Pérdida de coordinación	Trastornos de la memoria
	Largo plazo	Lesiones en el sistema nervioso central y en órganos (hígado y riñones)						

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).

5.3. EFECTOS POR EXPOSICIÓN A SO₂

Los óxidos de azufre presentan una relación con enfermedades del aparato circulatorio y el sistema respiratorio como el cáncer de pulmón.

Este gas tiene influencia en la exacerbación del asma y su exposición aguda produce obstrucción e hipersecreción de los bronquios (Oyarzún G., 2010), mientras que la exposición prolongada produce bronquitis crónica como se observa en la tabla 5. Asimismo, este gas es capaz de reaccionar con la capa mucosa de las vías aéreas (Ubilla y Yohannessen, 2017) produciendo irritación e inflamación en las mucosas respiratorias y conjuntiva.

Tabla 5: Efectos por exposición a SO₂.

	EFECTOS		
	Sistema respiratorio	Unidad materno-fetal	Otros
SO ₂	Agravamiento del asma	Bajo peso al nacer	Dolor de cabeza
	Síntomas bronquiales	Nacimientos pre-término	Ansiedad
	Alveolitis	Muerte fetal e infantil	Muerte prematura en personas con enfermedades del corazón
	Bronquitis crónica		Ritmo cardíaco irregular
	Insuficiencia respiratoria		Irritación ocular
	Aumento de ocurrencia de sibilancias en niños		
	Edema pulmonar		
	Disnea		
	Broncoconstricción		

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Oyarzún G., 2010; OMS y MAPAMA.

5.4. EFECTOS POR LA EXPOSICIÓN A NO₂

El Instituto nacional de Salud Carlos III ha asegurado que en España las muertes por NO₂ son aproximadamente 6000 al año, seguidas de las partículas en suspensión (2.600) y el ozono troposférico (más de 500) (Delgado, 2018).

El NO₂ puede llegar hasta los alvéolos (Ubilla y Yohannessen, 2017) a través de las vías respiratorias y producir alveolitis como se hace referencia en la tabla 6. Este gas produce efectos principalmente en el sistema respiratorio, destaca la exacerbación del asma que origina tos, sibilancias, etc.; la enfermedad pulmonar obstructiva que produce enfisema con bronquitis obstructiva crónica y a su vez en niños es capaz de afectar a su desarrollo pulmonar.

Tabla 6: Efectos producidos por la exposición a NO₂

NO ₂	EFECTOS	
	Sistema respiratorio	Otros
	Irritación vías respiratorias y pulmones	Irritación de ojos
	Infección pulmonar	Afección sistema inmune
	Edema pulmonar	Aparición de enfermedades cerebrovasculares
	Disminución capacidad pulmonar	Afección de órganos (hígado y bazo)
	Bronquitis aguda	Arritmias cardíacas
	EPOC	Accidente cerebrovascular isquémico
	Exacerbación del asma	
	Reacción alérgica	
	Enfisema pulmonar	
	Alveolitis	

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: OMS y MAPAMA.

A corto plazo produce edema pulmonar e irritaciones en el sistema respiratorio y ocular, mientras que a largo plazo puede afectar al sistema inmune y a los pulmones provocando que este sea menos resistente a las infecciones. En niños la exposición prolongada puede desarrollar bronquitis y disminuir su función pulmonar.

Gutiérrez Oyarce *et al.* (2018) analizaron la relación entre la exposición al NO₂ y la incidencia en los problemas respiratorios en niños (0-2años), no se obtuvo una asociación significativa, pero se encontró una asociación entre la exposición a NO₂ prenatal y postnatal y los niños con tos crónica con antecedentes de familiares por alergias. Mientras en otro estudio de Aguilera *et al.* (2013) se encontró una asociación entre la exposición a NO₂ y la incidencia en infecciones de las vías respiratorias bajas y otitis media.

5.5. EFECTOS POR LA EXPOSICIÓN A CO

El monóxido de carbono es una de las principales causas de muerte por intoxicación.

Al penetrar en el cuerpo a través de las vías respiratorias, el CO se combina con las enzimas del grupo Hem de la hemoglobina, que es el encargado de aportar

oxígeno desde los pulmones a todas las células y tejidos, y se forma el complejo carboxihemoglobina o Hemoglobina-CO (COHb), que desplaza al oxígeno ya que el complejo Hemoglobina-O₂ es menos estable e impide el transporte de O₂ a las células y tejidos (Téllez, Rodríguez y Fajardo, 2006) (Bolaños Morera y Chacón Araya, 2017).

A su vez, el CO se puede unir al hierro de los citocromos (que participan en la cadena respiratoria mitocondrial) impidiendo el adecuado uso del oxígeno por los tejidos orgánicos, agravando así la hipoxia tisular (de los tejidos) (Tabla 7).

Tabla 7: Efectos que produce el CO en los sistemas cardiovascular y nervioso.

EFECTOS		
	Sistema cardiovascular	Sistema nervioso
CO	Alteración del ritmo cardíaco (arritmias supraventriculares y ventriculares),	Cefalea
	Favorece la arterioesclerosis	Fatiga
	Episodios de trombosis,	Síncope
	Alteraciones de la actividad electrocardiográfica (supradesnivel o infradesnivel del segmento S-T, prolongación del intervalo Q-T, inversión de la onda T)	Disminución de la memoria, concentración, atención y las capacidades para conducir
	Mayor incidencia de hipertensión arterial	Irritabilidad
	Mayor incidencia de enfermedad coronaria	Mareos
	Interfiere en el transporte de O ₂ por la hemoglobina	Alteración en el comportamiento
	Arritmias	Lipotimia
	Arterioesclerosis	Trastorno del sueño (insomnio, somnolencia)
	Paro cardiorrespiratorio	Deterioro demencial (con menos frecuencia)
	Muerte	

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Bolaños Morera y Chacón Araya, 2017 y MAPAMA.

En la tabla 7 se puede observar los efectos producidos en el sistema cardiovascular y nervioso por la exposición al CO, siendo los efectos más comunes la cefalea, mareo, vértigo, náuseas, disnea, confusión, pérdida de consciencia y taquicardia que corresponden a la intoxicación crónica. La intoxicación aguda se da por las elevadas concentraciones produciendo la muerte del individuo.

La duración del tiempo de exposición determinará la concentración de CO y en consecuencia la gravedad de los efectos producidos en la persona, esto se puede observar en la tabla 8.

Tabla 8: Síntomas producidos según el porcentaje de concentración de COHb.

Concentración de COHb (%)	Síntomas y signos
< 3.5	Inocuo.
5	Deterioro facultades psicomotrices.
> 5	Alteraciones cardiovasculares
10-20	Cefalea, alteraciones visuales, vértigo, dolor abdominal, náuseas y vasodilatación.
20-30	Cefalea, disnea y angor de esfuerzo.
30-40	Cefalea intensa, náuseas, vómitos, alteración en la visión, debilidad en miembros inferiores, dificultad respiratoria, torpor mental (confusión mental).
40-50	Síncope, taquicardia, taquipnea, coma, acidosis metabólica de origen láctico por la glucólisis anaeróbica, hipokaliemia, hipotensión, convulsiones, depresión respiratoria, edema pulmonar, alteraciones en el ECG (depresión del segmento ST, ondas T patológicas, taquicardia, fibrilación ventricular)
50-60	Coma, convulsiones, respiración irregular.
> 60	Paro cardiorrespiratorio, convulsiones, coma y muerte.
70-80	Muerte.

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Sibón Olano *et al.*, 2007; Bolaños Morera y Chacón Araya, 2017.

La exposición durante una hora con concentraciones de 0.1% de CO inspirado puede alcanzar un 80% de COHb, produciendo así la muerte del individuo (Sibón Olano *et al.*, 2007).

5.6. EFECTOS EN LA SALUD POR LA EXPOSICIÓN A O₃

La prolongada exposición al ozono genera una exacerbación del asma principalmente, esto se produce, aunque el ozono se encuentre dentro de los valores límites establecidos, observándose así en la tabla 9. La exposición a corto plazo genera otros síntomas como tos, sibilancias, disminución de la frecuencia respiratoria y falta de aire que pueden requerir hasta hospitalización (Lockwood *et al.*, 2009).

Tabla 9: Efectos por la exposición a O₃.

	EFECTOS		
	Sistema respiratorio	Sistema nervioso	Otros
O ₃	Tos	Cefalea	Irritación ojos
	Irritación vías respiratorias	Mareos	Dolor de pecho
	Asma	Nauseas	Mortalidad prematura
	Reducción de la función pulmonar		
	Insuficiencia respiratoria		
	Alveolitis		

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Oyarzún G., 2010; OMS y MAPAMA.

El ozono es un importante factor de morbilidad y mortalidad por asma, la exposición prolongada a O₃ provoca asma, enfermedades pulmonares y reduce la función pulmonar.

6. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA AMBIENTAL Y MUERTES PREMATURAS EN ESPAÑA

En España la contaminación atmosférica produce anualmente 20 veces más muertes que los accidentes de carretera (Cerrillo, 2019).

La Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) ha publicado el informe anual 'La calidad del aire en Europa – Informe 2020 sobre la calidad del aire', en el que se indica una mejora en los niveles de contaminación atmosférica y la mortalidad asociada en comparación con los datos obtenidos en 2016, aun así, se indica que el número de muertes prematuras en España superan las 31.600 muertes anuales, siendo concretamente 23.000 muertes por PM_{2.5}, 6800 por NO₂ y 1800 por O₃ (Redacción Médica, 2020).

Si se cumplieren las recomendaciones de la OMS sobre los valores guía, el número de muertes prematuras por partículas en suspensión disminuiría notablemente, evitándose unas 102.000 muertes a nivel europeo, implicando una reducción de la polución y en consecuencia una mejora en la calidad del aire.

En la UE las muertes prematuras por partículas finas suponen 379.000 muertes prematuras. En 2018, las muertes por exposición a NO₂ y PM_{2.5} se han reducido, siendo 60.000 menos por PM_{2.5}

Desde el año 2000, se ha producido un descenso en las emisiones de contaminantes atmosféricos gracias a las regulaciones y medidas impuestas que implican una mejora de la calidad del aire y una reducción de la polución, incluido las emisiones por NO_x como se observa en la figura 9.

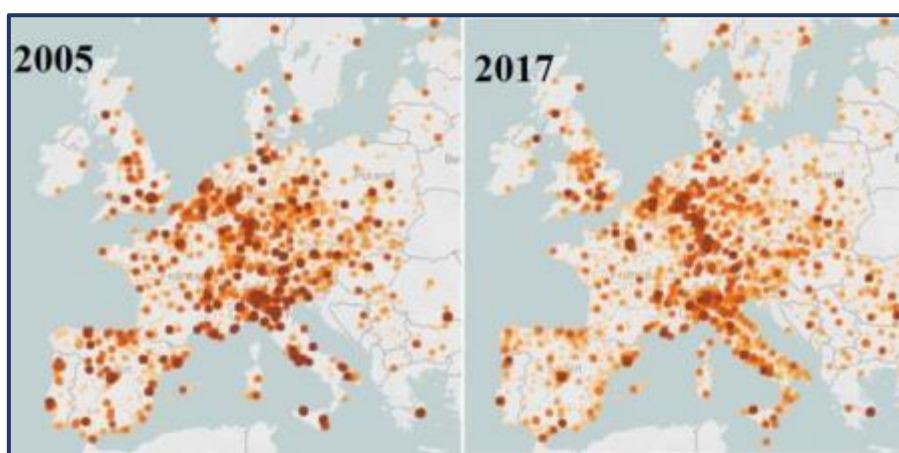


Figura 9: Niveles de contaminación por óxidos de nitrógeno. Fuente: AEMA. Tomada de: (Cerrillo, 2019)

7. EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN INTRADOMICILIARIA

Las emisiones producidas por las actividades domésticas pueden incidir en la salud porque emiten en mayor cantidad material particulado que afectará a la calidad del aire intradomiciliario.

La OMS estima que la contaminación del ambiente interno conllevó 4,3 millones de muertes en 2012 en hogares que usaban estufas de carbón, leña y biomasa para cocinar (OMS, 2018a).

La contaminación atmosférica doméstica afecta principalmente a aquellas personas que presentan un bajo nivel socioeconómico. Solo en la Unión Europea 80 millones de personas viven en malas condiciones, con calefacciones insuficientes (calefactores con mayor emisión de partículas), hogares húmedos,

mal equipados o diseñados. Una mala calidad del aire de las viviendas contribuye a la exacerbación o generación de enfermedades en el sistema respiratorio, cardiovascular e incluso en el sistema nervioso.

Otros factores que afectan a la calidad del aire intradomiciliario son los hábitos de salud (mala alimentación, menor descanso, malos hábitos de higiene, etc.) zona de residencia (zona más contaminada y menos contaminada) y la calidad de vida (alimentación, limpieza, vivienda, etc.).

La OMS (2018b) afirma que “aproximadamente 3000 millones de personas, más del 40% de la población mundial, no tienen acceso a combustibles y tecnologías de cocción limpios en sus hogares, lo que constituye la principal causa de contaminación del aire doméstico.”

Según la base de datos de la OMS en Europa en 2016 hubo 556.000 muertes prematuras por la contaminación intradomiciliaria y ambiente, de las cuales 348.000 fueron en países de ingresos medios y bajos y 208.000 en países de ingresos altos (WHO, 2019).

Las fuentes principales de emisión de contaminantes son las calefacciones, la quema inadecuada de combustibles, tabaquismo, disolventes de pinturas, hacinamiento y convivencia con animales domésticos. La mala ventilación y el tipo de material utilizado en la construcción de la casa son factores que también afectan en la incidencia de enfermedades.

El tabaquismo es la principal causa de muertes por enfermedades no transmisibles y además está ligado a la EPOC ya que el humo del tabaco contiene alrededor de 600 sustancias tóxicas (del Rosario, 2021).

Los niños son los más vulnerables al humo de tabaco, “Diferentes estudios científicos demuestran que el consumo activo de tabaco durante la gestación y la exposición materna al humo del tabaco ambiental suponen un riesgo para la salud del feto y del recién nacido”, afectando al desarrollo físico (menor altura, menor peso) y psíquico del bebe e incluso pudiendo producir síndrome neonatal de abstinencia por nicotina, displasia broncopulmonar en bebés, asma, pulmonía, bronquitis, infecciones de oído y parto prematuro (del Rosario, 2016) (Vargas et

al., 2008). La EPA estima que entre 150.000 y 300.000 infecciones respiratorias en niños son producidas por la exposición al humo de tabaco (EPA, 2021).

Más del 50% de las muertes por neumonía e infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores en menores de 5 años son causadas por partículas inhaladas en interiores con aire contaminado” (OMS, 2018c) (Mancebo Salazar, 2019).

Asimismo, las embarazadas y ancianos son también muy vulnerables a este tipo de contaminación ya que pasan la mayor parte de su tiempo en el interior de su hogar.

A nivel mundial la contaminación intradomiciliaria es la causante de 7 millones de muertes prematuras cada año. La exposición a una mala calidad del aire doméstico genera enfermedades en el sistema respiratorio, cardiovascular e incluso problemas de desarrollo neurológico tanto en niños como en adultos (OMS, 2019). Además, también se ha asociado a la incidencia de tuberculosis, cataratas y cánceres nasofaríngeos y laríngeos (OMS, 2018c).

Del total de muertes por contaminación intradomiciliaria el 34% corresponde a accidentes cerebrovasculares, el 26% por cardiopatías isquémicas, el 22% por neumopatías obstructivas crónicas, el 12% por infecciones agudas en las vías respiratorias inferiores en los niños y un 6% por cáncer de pulmón (OMS, 2014). (Tabla 10).

Tabla 10: Tipos de contaminantes intradomiciliarios.

CONTAMINANTES QUÍMICOS	CONTAMINANTES BIOLÓGICOS
Humo de tabaco	Ácaros del polvo doméstico
CO procedente de la calefacción a gas	
Formaldehidos	Hongos
Compuestos orgánicos volátiles (COV) procedentes de la gasolina y la limpieza	
Bolas de naftalina y ambientadores	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10 se pueden observar los principales contaminantes químicos y biológicos que afectan al ambiente intradomiciliario, siendo los más abundantes y perjudiciales los contaminantes químicos.

Herrera, Rodríguez y Niederbacher (2011) observaron en Bucaramanga (Colombia) que la exposición a ácaros (*Dermatophagoides sp.* principalmente) y hongos (*Cladosporium sp.*, *Aspergillus sp.*, etc.) incrementan la posibilidad de presentar síntomas de tos seca, sibilancias, asma bronquial y rinitis, e incluso agravar o exacerbar los síntomas (Herrera, Rodríguez y Niederbacher, 2011).

Según la OMS, Coyhaique (Chile) es la ciudad más contaminada por PM en América por uso de leña como combustible para calefacción y cocina. En los años 2009 y 2014, del 65% de urgencias respiratorias, el 61% eran menores de 15 años, por ello se propuso sustituir los calefactores para reducir las emisiones de PM y mejorar la calidad del aire. Comparando los datos de 2014 y 2016, se observó que, una vez realizados los recambios, los ingresos hospitalarios por urgencias respiratorias eran la mitad que, en 2014, (siendo en ambos años ingresos del grupo de 4 a 15 años). Al principio de los recambios (junio) los valores de MP_{2.5} superaban los 500 µg/m³, pero en el mes de julio cuando los recambios son superiores a los 750 calefactores los valores no superaban los 300 µg/m³. En 2014 en ambos meses la concentración era superior a 500 µg/m³ (Muñoz-Ibáñez, Cáceres-Lillo, 2020).

8. CONCLUSIONES

1. La exposición a la contaminación atmosférica ambiente y doméstica produce aproximadamente 7 millones de muertes. En 2016, 4,2 millones procedían de la contaminación del aire ambiente, mientras que las muertes por contaminación del aire doméstico fueron 3,8 millones (OMS, 2018b). Por ello se establece una relación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y la incidencia en la aparición o exacerbación de enfermedades o síntomas en la salud.
2. Las enfermedades más propensas se dan en el sistema respiratorio (asma, infecciones respiratorias agudas, EPOC, cáncer de pulmón, etc.), el sistema cardiovascular (infartos de miocardio, arritmias cardíacas, cardiopatías isquémicas, etc.) e incluso en el sistema nervioso (Parkinson, Alzheimer, etc.). A nivel mundial 223.000 muertes por cáncer de pulmón se asocian a la contaminación, siendo el tabaquismo el responsable de un 90% en hombre y un 80% en mujeres (Mancebo Salazar, 2019).

3. Estos efectos dependen de muchos factores y la exposición puede no afectar a todas las personas por igual, siendo los más vulnerables los niños seguido de las mujeres embarazadas, ancianos y personas con alguna enfermedad cardiovascular. Asimismo el nivel socioeconómico afecta, en 2016 en países de ingresos medios y bajos hubo 348.000 muertes prematuras mientras que en países de ingresos altos hubo 208.000 (OMS, 2019).

4. La mayoría de los contaminantes se encuentran legislados a excepción de las partículas ultrafinas, pero la imposición de valores más estrictos supondría una reducción en la morbilidad, mortalidad y en el número de ingresos, que conllevaría beneficios económicos, como se indica en el estudio de Pérez, Sunyer y Künzli (2009) que estiman que se obtendría una media de 6.400 millones de euros por año.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia EFE (10 octubre de 2018). "La polución en el aire puede estar ligada al cáncer de boca, según un estudio". Disponible en: <https://www.efe.com/efe/espana/sociedad/la-polucion-en-el-aire-puede-estar-ligada-al-cancer-de-boca-segun-un-estudio/10004-3776123> [Consultado 15-04-2021]

Aguilera, I., Pedersen, M., Garcia-Esteban, R., Ballester, F., Basterrechea, M., Esplugues, A., Fernández-Somoano, A., Lertxundi, A., Tardón, A., y Sunyer, J. (2013). "Early-life exposure to outdoor air pollution and respiratory health, ear infections, and eczema in infants from the INMA study". *Environmental health perspectives*, 121(3), 387–392.

Ballester, F. (2005) "Contaminación atmosférica, cambio climático y salud", *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), pp. 159-175.

Barrios Casas, S., Peña-Cortés, F. y Osses Bustingorry, S. (2004) "Efectos de la contaminación atmosférica por material particulado en las enfermedades respiratorias agudas en menores de 5 años", *Ciencia y enfermería*, 10(2), pp. 21-29.

Bolaños Morera, P. y Chacón Araya, C. (2017) "Intoxicación por monóxido de carbono", *Medicina Legal de Costa Rica*, 34(1), pp. 137-146.

Boldo, E. y Querol, X. (2014) "Nuevas políticas europeas de control de la calidad del aire: ¿un paso adelante para la mejora de la salud pública?", *Gaceta Sanitaria*, 28(4), pp. 263-266.

Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (CeMCAQ) (2020) "Dióxido de Nitrógeno". Disponible en: <http://www.cemcaq.mx/contaminacion/bioxido-de-nitrogeno-no2>

Cerrillo, A. (2019) "La polución en España causa 20 veces más muertes que las carreteras". *La Vanguardia*, 17 de octubre de 2019. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/20191017/471032097262/polucion-20-veces-agencia-europea-de-medio-ambiente-julio-diaz.html>

del Rosario, G. (2021) "La EPOC en España: mejorar la estrategia para evitar males mayores". *Efe: Salud*, 5 de febrero de 2021. Disponible en: <https://www.efesalud.com/blog/la-epoc-en-espana-mejorar-la-estrategia-para-evitar-males-mayores/>

Delgado, E. (2018) "La contaminación atmosférica causa más de 10.000 muertes al año en España". *Efe: Verde*, 9 de abril de 2018. Disponible en: <https://www.efeverde.com/noticias/la-contaminacion-atmosferica-causa-mas-10-000-muertes-al-ano-espana/>

EPA (2021). Hogares sin humo de tabaco. Efectos en la salud debido a la exposición al humo de segunda mano". Disponible en: <https://espanol.epa.gov/cai/hogares-sin-humo-de-tabaco>

España. Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. *Boletín Oficial del Estado*, 16 de noviembre 2007, núm. 275. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/11/15/34/con> [Consultado 20-11-2020]

España. Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. *Boletín Oficial del Estado*, 7 de febrero de 2003, núm. 33, pp. 5030-5041. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-2515>

España. Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de enero de 2011, núm. 25, pp. 9574-9626. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-1645 [Consultado 26-11-2020]

Galán-Madruga, D., Mérida Terroba, J., García dos Santos, S., Muñoz Úbeda, R. y García-Camero, J.P. (2020) "Indoor and Outdoor PM 10-Bound PAHs in an Urban Environment. Similarity of Mixtures and Source Attribution", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105(6), pp. 951-957.

Gutiérrez Oyarce, A., Ferrero, A., Estarlich, M., Esplugues, A., Iñiguez, C. y Ballester, F. (2019) "Exposición ambiental a dióxido de nitrógeno y salud

respiratoria a los 2 años en la Cohorte INMA-Valencia", *Gaceta Sanitaria*, 32(6), pp. 507-512.

Herrera, A.B., Rodríguez, L.A. y Niederbacher, J. (2011) "Contaminación biológica intradomiciliaria y su relación con síntomas respiratorios indicativos de asma bronquial en preescolares de Bucaramanga, Colombia", *Biomédica*, 31(3), pp. 357-371.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) (2015). "Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales". Disponible en: <https://www.icms.us-csic.es/sites/icms.us-csic.es/files/SST%20con%20nanomateriales.pdf>

Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS) (2010). "Base de datos de sustancias tóxicas y peligrosas RISCTOX". Disponible en: <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=621> [Consultado 05-03-2021]

Leal-Iga, J. 2019, "Efectos físicos de la contaminación atmosférica percibidos de manera inconsciente por la ciudadanía, en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México", *Revista de Salud Pública*, 21(4), pp. 1-7.

Lockwood, A.H., Welker-Hood, K., Rauch, M. y Gottlieb, B. (2009) "El impacto del carbón sobre la salud humana", *Un informe de Médicos para la Responsabilidad Social (Physicians for Social Responsibility)*.

López Gigoso, M.J. (2009) "Contaminación Atmosférica, Morbilidad y Mortalidad en la ciudad de Albacete (Año 2005)", *Revista Clínica de Medicina de Familia*, 2(8), pp. 392-399.

Mancebo Salazar, S. (2019) "Contaminación: así afecta a nuestra salud". *Efe: Salud*, 02 de diciembre de 2019. Disponible en: <https://www.efesalud.com/contaminacion-asi-afecta-a-nuestra-salud/>

Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H. y Gutiérrez, A. (2005) "Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos", *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 39(1), pp. 27-36.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) (2014). "Análisis de la Calidad del Aire en España. Evolución 2001-2012". Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/analisisdelacalidaddelaireenespanaevolucion2001-2012web_tcm30-185073.pdf [Consultado en 02-06-2021]

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). Plan Nacional de Calidad del Aire 2017-2019 (Plan Aire II). Disponible en: https://www.miteco.gob.es/images/es/planaire2017-2019_tcm30-425592.pdf [Consultado en 13-06-2021]

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/>

Muñoz, M. (2015) "La contaminación atmosférica también es un factor de riesgo cardiovascular". *Efe: Salud*, 10 de diciembre de 2015. Disponible en: <https://www.efesalud.com/la-contaminacion-atmosferica-tambien-es-un-factor-de-riesgo-cardiovascular/>

Muñoz-Ibáñez, F.G. y Cáceres-Lillo, D.D. (2020) "Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por MP_{2,5} y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile", *Cadernos de Saúde Pública*, 36(6).

Oyarzún G., M. (2010) "Contaminación aérea y sus efectos en la salud", *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, (26)1, pp. 16-25.

Organización Mundial de la Salud (25 de marzo de 2014). "7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica". Disponible en: [Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado Sin embargo, cada vez hay más países que toman medidas \(who.int\)](#) [Consultado 06-02-2021]

Organización Mundial de la Salud (2016). "Repositorio de datos del Observatorio Mundial de la Salud". Disponible en: <https://apps.who.int/gho/data/node.main.BODAMBIENTAIRDTHS?lang=en>

[Consultado 25-05-2021]

Organización Mundial de la Salud (2 de mayo de 2018a). "Calidad del aire y salud". Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) [Consultado 07-02-2021]

Organización Mundial de la Salud (2 de mayo de 2018b). "Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado". Disponible en: [Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado Sin embargo, cada vez hay más países que toman medidas \(who.int\)](#) [Consultado 07-02-2021]

Organización Mundial de la Salud (8 de mayo de 2018c). "Contaminación del aire de interiores y salud". Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>

Patiño-Sánchez, A.C. y Patiño-Silva, O.F. (2021) "Impacto de la combustión del transporte terrestre en la calidad del aire y la salud pública en áreas urbanas. Una revisión", *Revista nodo*, 15(30), pp. 61-73.

Pérez, L., Sunyer, J. y Künzli, N. (2009) "Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain)", *Gaceta Sanitaria*, 23(4), pp. 287-294.

Redacción Médica (2020) "La contaminación ambiental causa en España 31.600 muertes prematuras". *Redacción Médica*, 3 de diciembre de 2020. Disponible en: <https://www.redaccionmedica.com/secciones/neumologia/contaminacion-ambiental-espana-31-600-muertes-prematuras-7463>

Rojas Bracho, L. y Garibay Bravo, V. (2003) "Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud?;¿podemos hacer algo?", *Gaceta ecológica*, (69), pp. 29-44.

Romero Placeres, M., Diego Olite, F. y Álvarez Toste, M. (2006) "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud", *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2).

Saraga, D., Maggos, T., Degrendele, C., Klánová, J., Horvat, M., Kocman, D., Kanduč, T., Garcia Dos Santos, S., Franco, R., Morillo Gómez, P., Manousakas, M., Bairachtari, K., Eleftheriadis, K., Kermenidou, M., Karakitsios, S., Gotti, A. y Sarigiannis, D. (2021) "Multi-city comparative PM_{2.5} source apportionment for

fifteen sites in Europe: The ICARUS project", *Science of The Total Environment*, vol. 751, pp. 1-15.

Sibón Olano, A., Martínez-García, P., Vizcaya Rojas, M. y Romero Palanco, J. L. (2007) "Intoxicación por monóxido de carbono", *Cuad. Med. Forense*, 13(47), pp. 65-69.

Téllez, J., Rodríguez, A. y Fajardo, Á. (2006) "Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental", *Revista de salud pública*, 8(1), pp. 108-117.

Ubilla, C. y Yohannessen, K. (2017) " Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño ", *Revista Médica Clínica las Condes*, 28(1), pp. 111-118.

Valdés Hernández, S. y Rojo Martínez, G. (2021) "Contaminación del aire y diabetes ¿Existe relación?". *Sociedad Española de Diabetes. Revista diabetes*, núm., 68, pp. 24-27.

Vargas, S., Onatra, W., Osorno, L., Páez, E. y Sáenz, O. (2008) "Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores", *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*, 11(1), pp. 31-45.

World Health Organization (2019). "Noncommunicable diseases and air pollution" Disponible en: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/news/news/2019/3/noncommunicable-diseases-and-air-pollution>

Zubizarreta Solá, A., Martínez Menéndez, J., Rivas Pérez, P., Gómez Iglesias, S. y Sanz Borrás, A. (2018) "Revisión de la literatura sobre efectos nocivos de la exposición laboral a hidrocarburos en trabajadores en ambiente externo", *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 64(252), pp. 271-294.

ANEXOS

Tabla 1: Estándares de calidad del aire. Siendo VLD, valor límite diario; VLA, valor límite anual y VLH, valor límite horario.

CONTAMINANTE	Valor límite (VL) / objetivo (VO) / Umbral de alerta	Concentración
PM ₁₀	VLD	50 µg/m ³
	VLA	40 µg/m ³
PM _{2.5}	VLA- fase I (1 enero 2015)	25 µg/m ³
	VLA- fase II (1 enero de 2020)	25 µg/m ³
SO ₂	VLH	350 µg/m ³
	VLD	125 µg/m ³
NO ₂	VLH	200 µg/m ³
	VLA	40 µg/m ³
Benceno (C ₆ H ₆)	VLA	5 µg/m ³
Benzo(a)pireno	Valor objetivo para la protección de la salud humana y medio ambiente	1 ng/m ³
CO	Valor límite para la protección de la salud humana (máximo diario octohorario anual)	10 mg/m ³
O ₃	VO	120 µg/m ³
	Objetivo a largo plazo para la protección humana	120 µg/m ³
	Promedio horario	180 µg/m ³
	Umbral alerta	240 µg/m ³

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: MITECO, RD102/2011.

Tabla 2: Valores recomendados por la OMS.

CONTAMINANTE	PERIODO / MEDIA	Valor medio límite en el periodo (µg/m ³)
PM ₁₀	media de 24 horas	50
	media anual	20
PM _{2.5}	media de 24 horas	25
	media anual	10
SO ₂	media de 10 minutos	500
	media de 24 horas	20
NO ₂	media de 1 hora	200
	media anual	40
O ₃	media de 8 horas	100

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: (OMS, 2018)